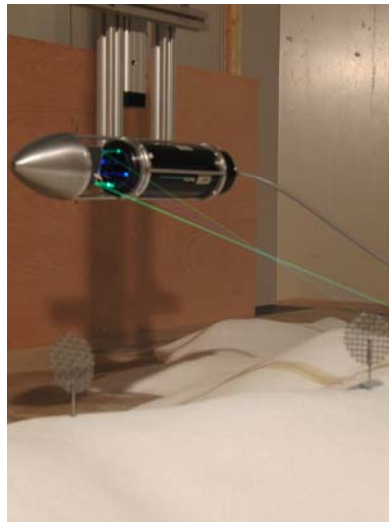


Polit cnica de Orléans



Estudio de la interacción de estelas entre aerogeneradores de un parque eólico en el sur de Francia



Resumen

Beatriz Calvo Orte

ÍNDICE

1. Introducción.....	3
2. Experimentación.....	3
3. Caracterización del fluido.....	5
3.1. Fluido sin maqueta.....	5
3.2. Fluido con maqueta.....	6
3.3. Capa límite atmosférica.....	7
4. Descripción de las medidas.....	9
4.1. Interacción de las ondas sin la maqueta.....	9
4.2. Interacción de las ondas en presencia de un relieve.....	12
5. Conclusión.....	13

1. INTRODUCCIÓN

Un aerogenerador extrae la energía cinética del viento para convertirla en energía eléctrica. Esta extracción de energía provoca la creación de perturbaciones detrás del aerogenerador y una disminución de la velocidad entre el punto anterior y el posterior.

El parque eólico estudiado está situado en el sur de Francia y pertenece a la empresa EDF. Esta compañía ha pedido una serie de ensayos que tendrían lugar en el túnel aerodinámico del Instituto PRISME. Estos ensayos van a permitir cuantificar los efectos de la interacción entre los aerogeneradores de dicho parque. La siguiente foto muestra el parque estudiado.

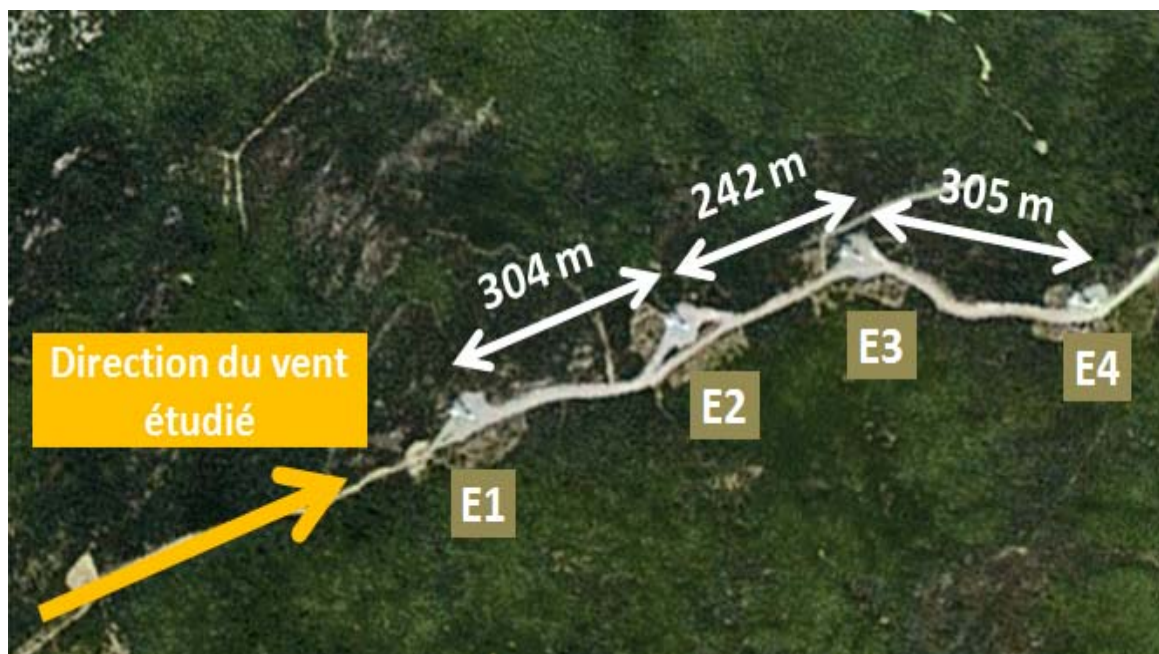


Figura 1 : Fotografía aérea del parque eólico estudiado

EDF ha pedido el estudio en una dirección específica del viento. Los aerogeneradores se alinean en la dirección Oeste Sur Oeste.

2. EXPERIMENTACIÓN

Los ensayos tuvieron lugar en el túnel aerodinámico Malavard del Instituto PRISME que cuenta con una potencia de 250MW capaz de soportar velocidades de 60 m/s en el más pequeño de los vanos.

Dentro del túnel se instaló un sistema de desplazamiento para medir la velocidad por el método de LDA Laser Doppler Anemometry.

LDA es una técnica para medir la velocidad de flujos o más precisamente de pequeñas partículas dentro del flujo.

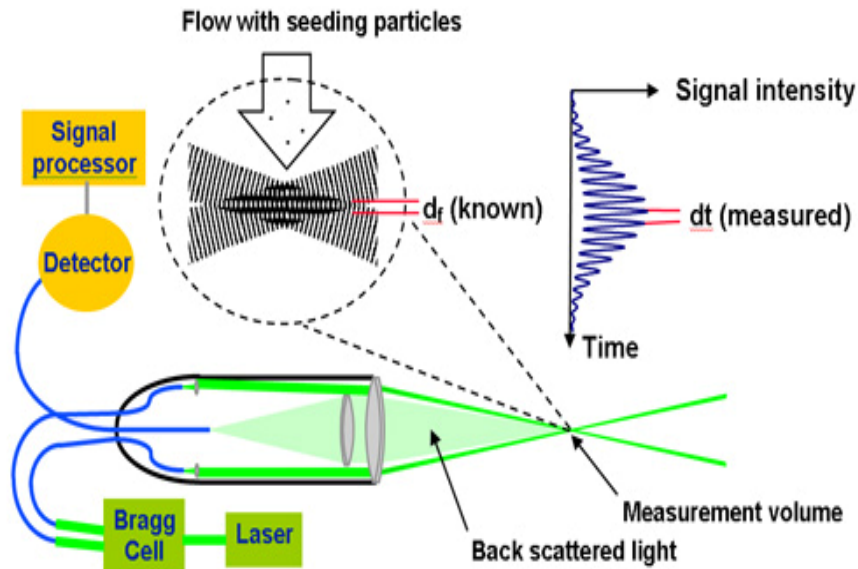
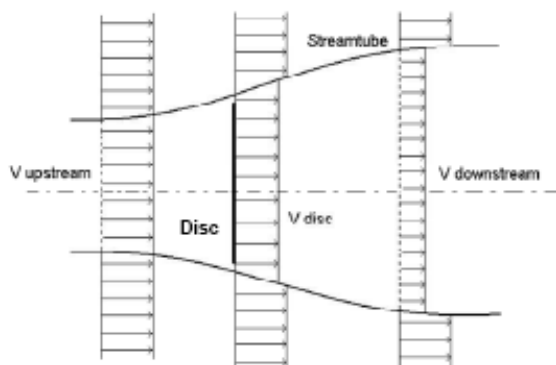


Figura 2 : Imagen del aparato de medida utilizado

Los aerogeneradores son del tipo Neg Micon NM52/900. La altura del mástil es de 49 m y el diámetro del rotor tiene una longitud de 52 m. La potencia nominal de este tipo de aerogeneradores es de 900 KW.

Por razones prácticas, los aerogeneradores han sido modelizados a escala 1/600 mm.

El rotor se ha fabricado mediante la yuxtaposición de dos tipos diferentes de malla de alambre elegidas a partir de los tests preliminares realizados en el túnel aerodinámico. En efecto, el disco poroso reproduce el mismo efecto que un aerogenerador en un punto preciso de funcionamiento.



$$a = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{V_{down}}{V_{up}} \right)$$

Nos hemos basado en el coeficiente “a”, factor de carga, para saber si se trabaja en el punto adecuado. Para encontrar el factor de carga adecuado se utiliza el perfil de velocidades a una distancia de dos diámetros y se calcula la velocidad media detrás del aerogenerador, $U_w = 5.63 \text{ m/s}$, y la velocidad media en el infinito, $U_{INF} = 10.15 \text{ m/s}$.

3. CARACTERIZACION DEL FLUIDO

3.1. FLUIDO SIN MAQUETA

El fluido en el túnel no es constante. Por ello, es necesario corregir las medidas realizadas con el propósito de poderlas comparar.

Se han realizado medidas de velocidad longitudinales y transversales para comprobar si efectivamente los paneles de madera mejoran el flujo dentro del túnel.

• Medidas longitudinales

La siguiente gráfica muestra la evolución de la velocidad longitudinal en el vano de ensayo. Las curvas en rojo y en azul indican las velocidades a 800 mm y 400 mm de altura respectivamente con respecto al suelo.

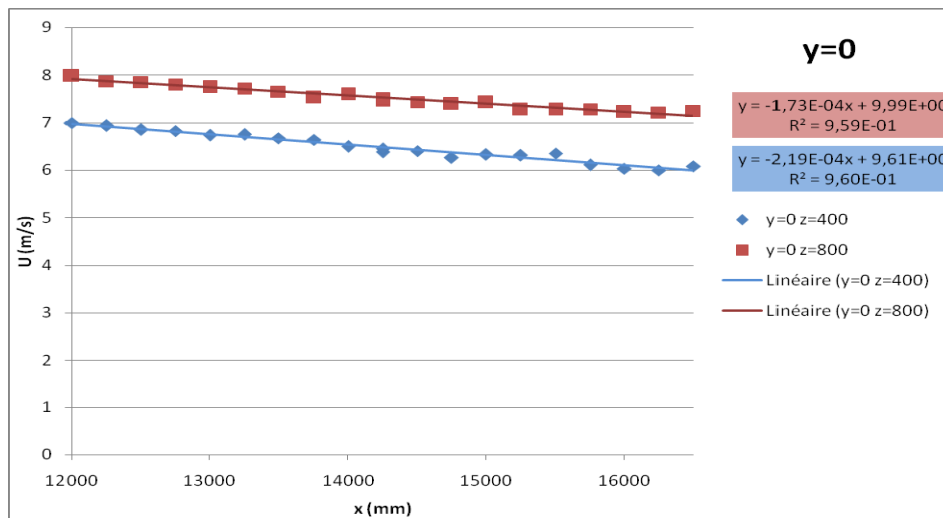


Figura 3 : Medida de la velocidad longitudinal

• Medidas transversales

La gráfica de abajo muestra la evolución de la velocidad transversal en el vano de ensayo. Las curvas en rojo y en azul indican las velocidades a 800 mm y 400 mm de altura respectivamente con respecto al suelo.

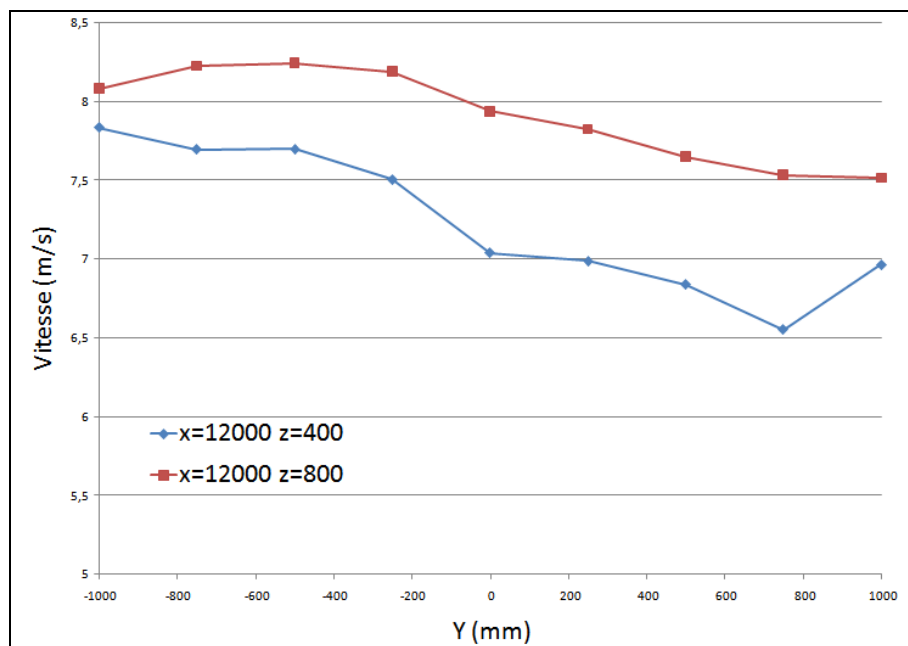


Figura 4 : Medida de la velocidad transversal

3.2. FLUIDO CON MAQUETA

La velocidad a lo largo de la maqueta puede ser perturbada por el relieve.



Figure 5 : Foto de la maqueta en el vano de ensayo

Se midió la evolución de la velocidad a lo largo de la maqueta. Las medidas se hicieron a 49 m y a 180 m.

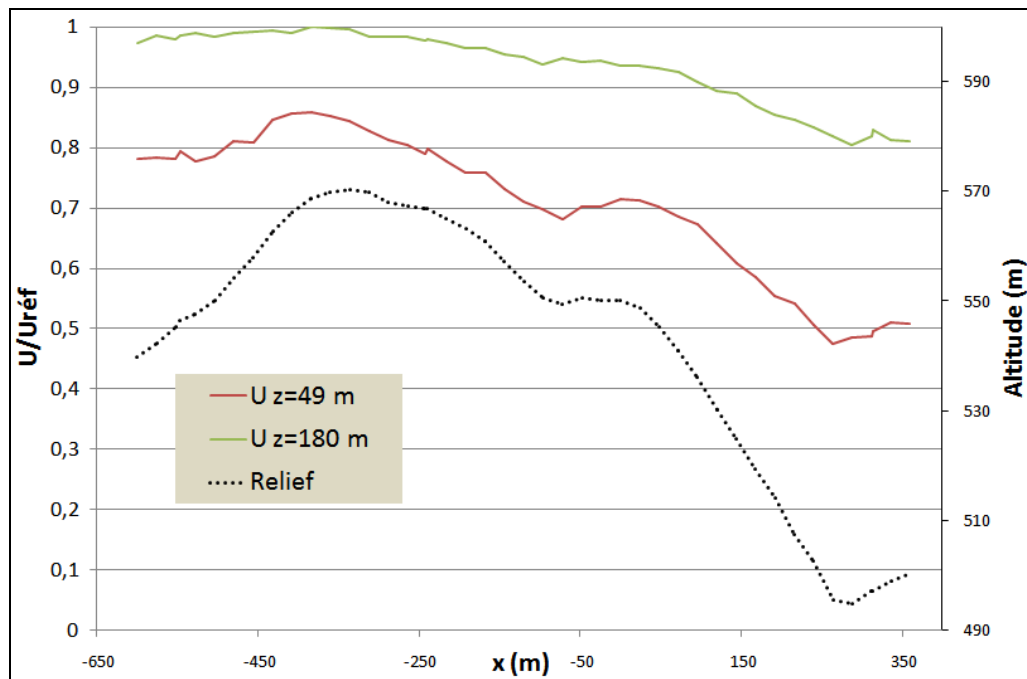


Figura 6 : Medida de la velocidad longitudinal con maqueta

Se puede observar que la medida de la velocidad se ve más afectada por el relieve cuanto más se acerca al suelo.

3.3. CAPA LÍMITE ATMOSFÉRICA

Las medidas nos van a permitir conocer la rugosidad del túnel aerodinámico.

La longitud de rugosidad (z_0) y el coeficiente α se determinan a partir del perfil vertical de velocidades. Se ha medido un perfil vertical para cada posición de los aerogeneradores con y sin maqueta. El programa lógico PROFIT permite determinar estos coeficientes a partir de dichos perfiles.

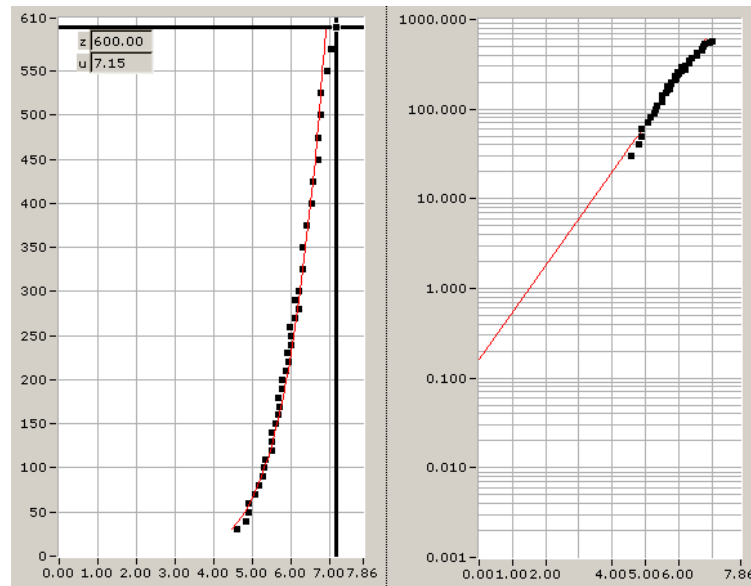


Figure 7 : Perfil vertical de velocidad de PROFIT

	Sin maqueta			Con maqueta		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Z0 (m)	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,7
Alp ha	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	3	4	3	8	6	4

Type of terrain	z_0 (m)	α
Smooth terrain (sea, snow)	10^{-5} to $5 \cdot 10^{-3}$	0,08 to 0,12
Moderately rough (farmland, few trees)	$5 \cdot 10^{-3}$ to 10^{-1}	0,12 to 0,18
Rough (small town, suburbs)	0,1 to 0,5	0,18 to 0,24
Very rough (City centre, forest)	0,5 to 2	0,24 to 0,4

Se busca conocer la intensidad de turbulencia en el vano de ensayo. El gráfico a continuación muestra la intensidad de turbulencia siguiendo el eje x.

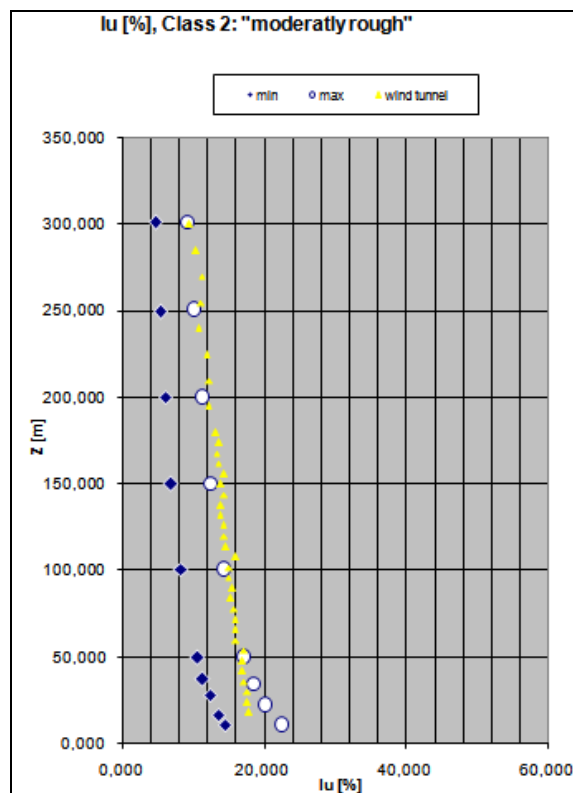


Figure 8 : Intensidad de turbulencia $x=e1$

	Sin maqueta			Con maqueta		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
I_u (%)	17,1	17	17,4	20,5	19,4	20,5
I_v (%)	12,3	13,2	12	12,2	12,4	14,6
I_w (%)	7,9	8	8,5	11,4	10,1	10,6

4. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS

La velocidad será medida vertical y horizontalmente detrás de cada aerogenerador con y sin relieve.

4.1. INTERACCIÓN SIN MAQUETA

PERFILES VERTICALES

Para caracterizar los perfiles verticales se han hecho medidas de 12 m. a 180 m. del suelo donde la velocidad se estabiliza.

Como ejemplo, la gráfica que sigue muestra la evolución de la velocidad detrás del aerogenerador 1. Ésto mismo se hizo con los aerogeneradores 2 y 3.

Las curvas roja, verde, violeta y azul representan respectivamente los perfiles de velocidad a 2D, 4D, 6D y 0D detrás del aerogenerador 1.

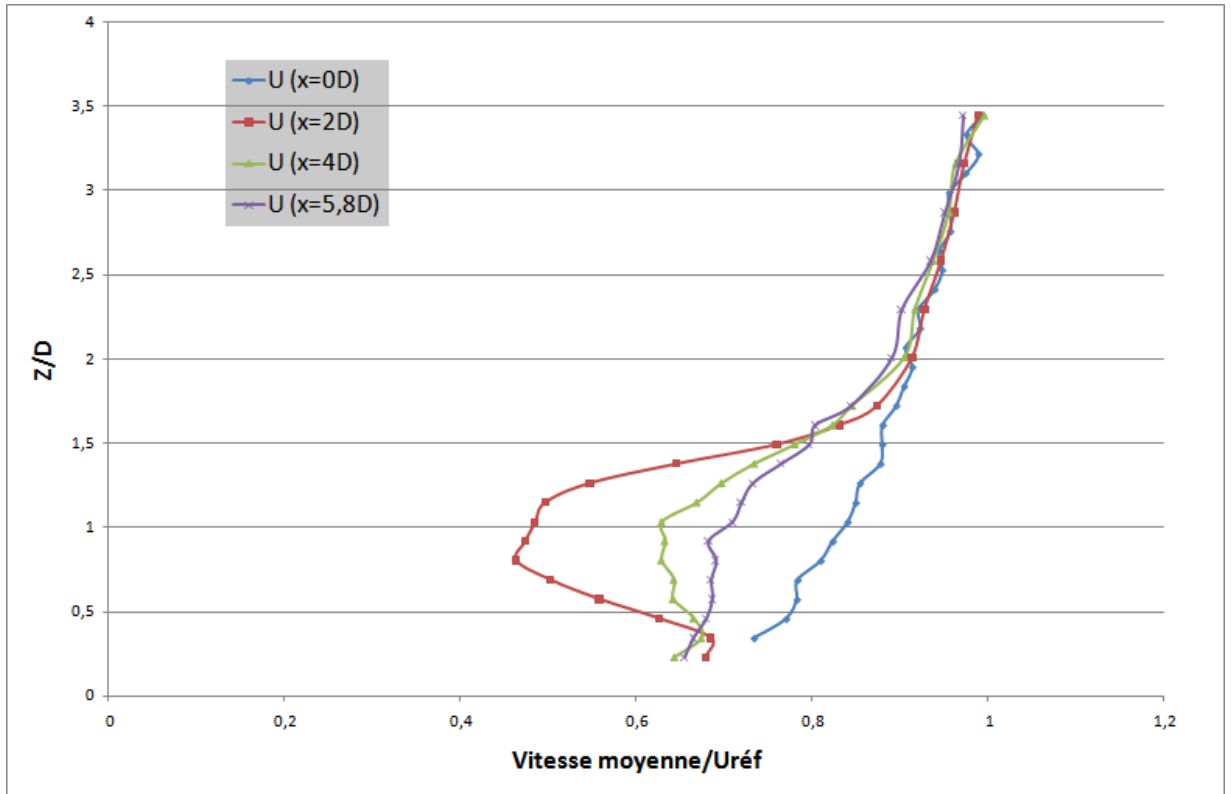


Figure 9 : Perfiles verticales detrás de E1

PERFILES HORIZONTALES

Operando de la misma manera que en el caso anterior se obtiene el perfil de velocidades en este caso, horizontales.

Las curvas roja, verde, violeta y azul representan respectivamente los perfiles de velocidad a 2D, 4D, 6D y 0D detrás del aerogenerador 1.

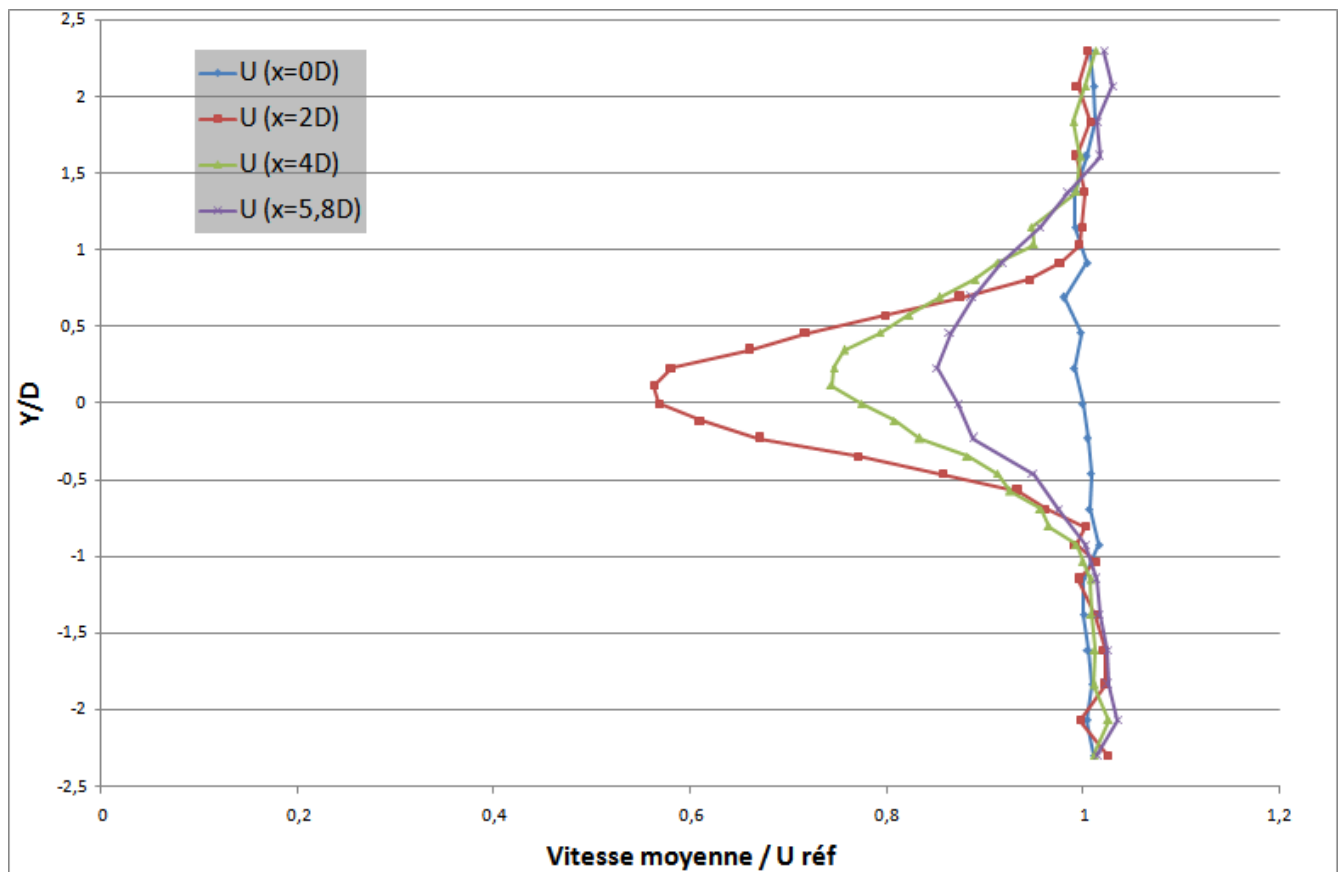


Figura 10 : Perfiles horizontales detrás del aerogenerador E1

4.2. INTERACCIÓN CON MAQUETA

PERFILES VERTICALES

A continuación, se pueden observar los perfiles de velocidad en presencia de la topología. La gráfica de abajo muestra la evolución de la velocidad detrás del aerogenerador 1.

Las curvas roja, verde, violeta y azul representan respectivamente los perfiles de velocidad a 2D, 4D, 8D y 0D detrás del aerogenerador 1.

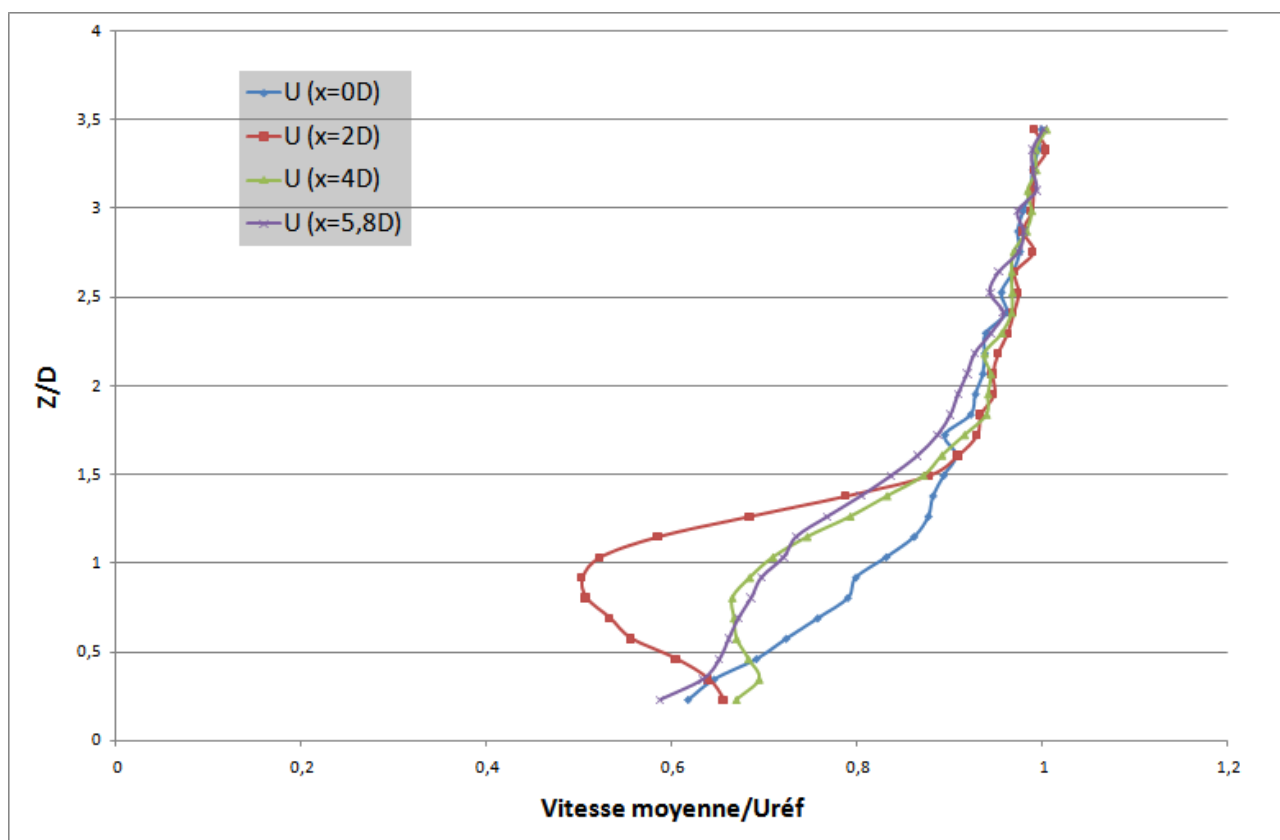


Figura 11 : Perfiles verticales detrás del aerogenerador E1

Se puede señalar que el déficit de velocidad disminuye cuando nos alejamos del aerogenerador.

PERFILES TRANSVERSALES

La siguiente gráfica muestra la evolución de la velocidad, en este caso transversal.

Las curvas roja, verde, violeta y azul representan respectivamente los perfiles de velocidad a 2D, 4D, 5,8D y 0D detrás del aerogenerador 1.

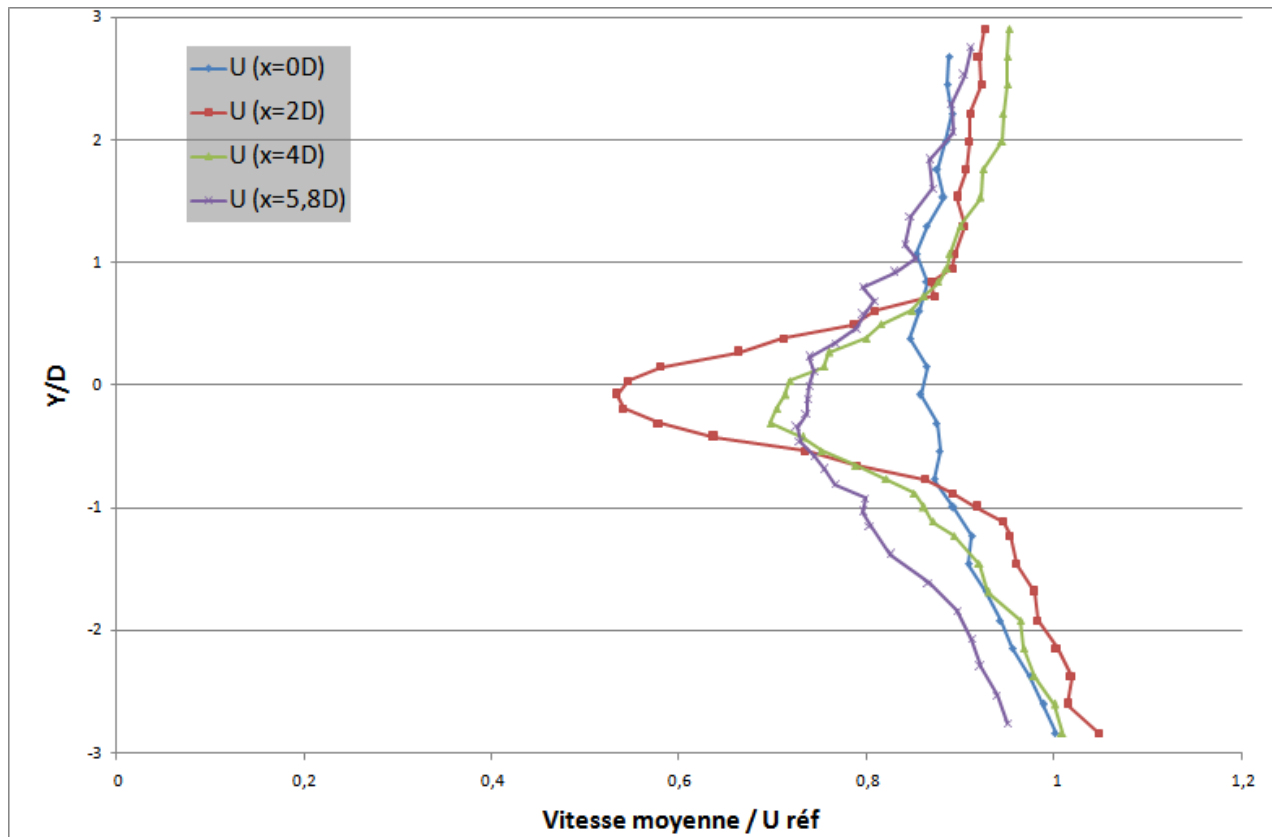


Figura 12 : Perfiles transversales detrás del aerogenerador E1

5. CONCLUSIÓN

Los resultados de los ensayos han mostrado que los aerogeneradores 2 y 3 son perturbados por las estelas generadas por los aerogeneradores instalados detrás. En efecto, cuando se observan los perfiles horizontales y verticales se puede ver que estos perfiles en las posiciones $x=e2$ et $x=e3$ son diferentes de los mismo perfiles sin aerogeneradores.

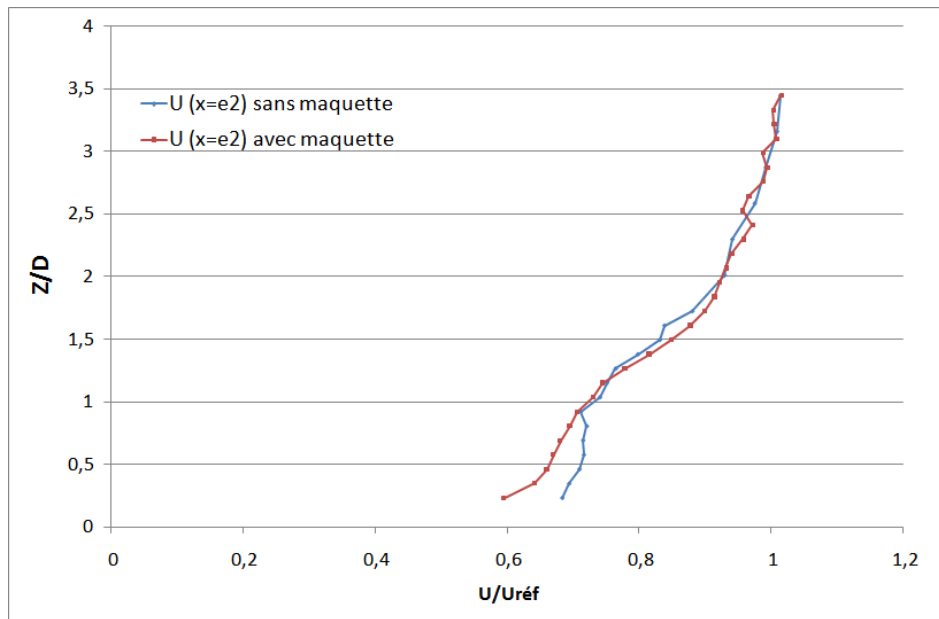


Figure 13 : Profils detrés de E1 en la posición $x=e2$ con y sin maqueta

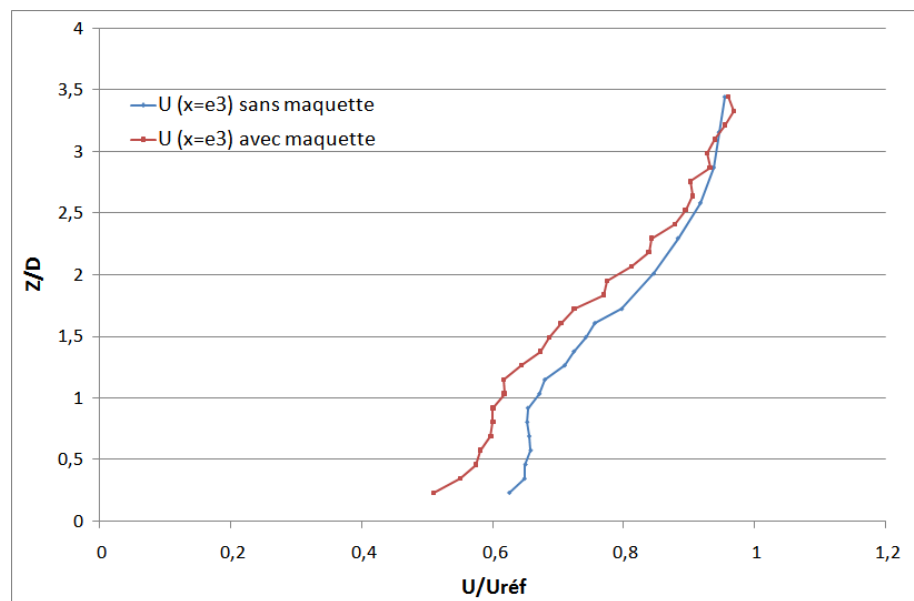


Figure 14 : Profils detrés de E2 en la posición $x=e3$ con y sin maqueta